(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 550 400**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **83 12900**

(51) Int Cl⁴ : H 04 B 9/00.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 4 août 1983.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande :** BOPI « Brevets » n° 6 du 8 février 1985.

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(71) **Demandeur(s) :** *Société dite : THOMSON-CSF, société anonyme.* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** Luigi d'Auria et Jean Claude Reymond.

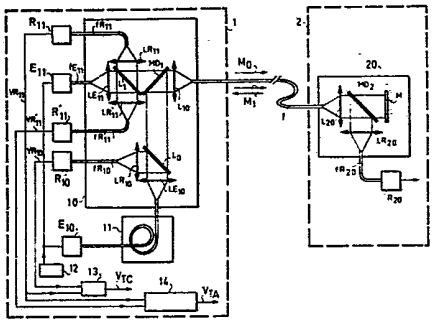
(73) **Titulaire(s) :**

(74) **Mandataire(s) :** Philippe Guilguet, Thomson-CSF, SCPI.

(54) Procédé et dispositif de transmission d'informations par fibre optique.

(57) Selon l'invention, on émet tout d'abord une onde lumineuse d'une première longueur d'onde véhiculant un message d'informations M_1, qui effectue un aller et retour dans la fibre optique de liaison *f*, et on retarde une seconde onde lumineuse d'une seconde longueur d'onde véhiculant le même message d'informations M_0 d'un temps égal au temps nécessaire pour effectuer l'aller et retour dans la fibre de liaison *f*, ce à l'aide d'une fibre optique fE_{10} constituant une ligne à retard. On compare 13 les deux messages pour déterminer la « transmissibilité » de la ligne de liaison avant de transmettre le message d'informations M_0 au terminal récepteur 2.

Application aux communications à haute sécurité : chiffrage, conduite de missiles fibroguidés, avionique, etc.



FR 2 550 400 - A1

PROCEDE ET DISPOSITIF DE TRANSMISSION D'INFORMATIONS PAR FIBRE OPTIQUE.

La présente invention concerne un procédé de transmission d'informations par fibre optique, plus particulièrement un procédé de transmission à haute sécurité. L'invention concerne également un dispositif pour la mise en oeuvre de ce procédé.

Depuis quelques années, les systèmes de transmissions optiques ont connu un développement extrêmement rapide. Ce développement est dû aux avantages spécifiques apportés par l'utilisation de fibres optiques comme éléments de liaisons pour canaliser les échanges de données, et parmi lesquels : débit de transmission élevé, quasi-insensibilité aux parasitages d'origine électromagnétique, miniaturisation des éléments constitutifs des systèmes de transmissions. A cette fin de nombreux composants et dispositifs optiques ont été proposés, incluant des composants dit en "optique intégrée" multifonctions, c'est-à-dire intégrés sur un substrat unique.

Tous ces éléments répondent parfaitement aux besoins pour lesquels ils ont été conçus et ont permis des progrès importants dans la technique des transmissions, tant en qualité qu'en quantité d'informations transmises par une seule liaison.

Cependant, pour certaines applications, telle que des liaisons militaires pour les télécommunications ou la télécommande d'engins, les transmissions d'informations chiffrées, etc..., il est nécessaire de réaliser des systèmes de transmissions présentant un niveau de sécurité élevé, d'autant plus que, généralement pour ces applications, les conditions d'environnement physique sont plus sévères que dans la pratique courante.

En ce qui concerne le contenu des messages d'informations transmis par ces systèmes, des mesures spécifiques visant à garantir l'intégrité de l'information transmise peuvent être adoptées. On peut notamment mettre en oeuvre des procédés de transmissions de types numériques et plus spécifiquement coder l'information à l'aide, par exemple, de codes redondants permettant la détection et la correction d'erreurs. Ces mesures concernent un domaine que l'on peut qualifier de domaine du "logiciel".

Cependant, un autre domaine doit également être considéré, que l'on peut qualifier de domaine du "matériel", lié plus directement aux éléments physiques utilisés dans la chaine de transmission : canal de liaison à fibre optique, connecteurs, coupleurs et, de façon plus générale, composants opto-électroniques de fonctions diverses.

Les défauts présentés par ces éléments peuvent aller du défaut grave interrompant toute possibilité de liaison à des variations de plus ou moins grandes amplitudes des paramètres optiques associés à ces éléments.

Il est donc nécessaire de connaitre un paramètre reflétant la qualité de la liaison assurant les transmissions, paramètre que l'on peut appeler "transmibilité" du message à transmettre.

Le procédé de l'invention vise à répondre à ce besoin.

L'invention a donc pour objet un procédé de transmission optique d'un message d'informations dans un système à sécurité de transmission élevée comprenant au moins un canal de liaison par fibre optique d'une longueur déterminée entre un terminal émetteur et un terminal récepteur, caractérisé en ce qu'il comprend :

- une étape de génération par le terminal émetteur d'une première onde lumineuse véhiculant ledit message d'information à transmettre, d'injection de cette onde dans la fibre optique de liaison et de transmission de cette onde au terminal récepteur ;

- une étape de génération, en synchronisme avec la génération de la première onde, d'une seconde onde lumineuse associée à un paramètre optique permettant une discrimination des deux ondes et véhiculant le même message d'informations à transmettre ;

- une étape de retransmission immédiate de la première onde lumineuse par le terminal récepteur vers le terminal émetteur ;

- une étape d'injection de la seconde onde lumineuse dans un organe la retardant, d'un temps égal à deux fois le temps nécessaire à la première onde pour se propager dans la fibre optique de liaison sur ladite longueur déterminée, avant de la transmettre à la fibre optique de liaison ;

- une étape de comparaison, des contenus des messages véhiculés par les première et seconde ondes et de génération d'un signal présentant deux états distincts, une premier état, associé à la concordance des contenus des

deux messages indiquant que le terminal récepteur est en état de recevoir le message d'information à transmettre, et un deuxième état, associé à la non-concordance des contenus des deux messages, indiquant que le terminal récepteur n'est pas en état de recevoir ce message ;

- et une étape d'injection dans la fibre optique de liaison de la seconde onde lumineuse, de transmission de celle-ci au terminal récepteur et de détection par ce terminal, du contenu du message d'informations véhiculé par cette seconde onde lumineuse.

L'invention a encore pour objet un dispositif de mise en oeuvre de ce procédé.

L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques et avantages apparaitront à la lecture de la description ci-après et des dessins annexés et parmi lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement un système de transmission par fibre optique comprenant un dispositif selon l'invention ;
- la figure 2 est un exemple de réalisation concrète d'un tel système ;
- les figures 3 et 4 sont des diagrammes explicatifs du fonctionnement du dispositif de l'invention.

Le procédé de transmission par fibre optique selon l'invention va être explicité par référence à la figure 1 qui représente schématiquement un système de transmission par fibre optique entre deux terminaux, un terminal émetteur 1 et un terminal récepteur 2. Ce système inclue un dispositif selon l'invention.

Selon l'une des caractéristiques principales du procédé de l'invention, des premiers signaux optiques sont transmis du terminal émetteur 1 vers le terminal récepteur 2 via un canal de liaison à fibre optique f.

Ces signaux véhiculant un message M_1 d'informations à transmettre. Le temps nécessaire à la propagation du message M_1 dépend essentiellement de la longueur de la fibre optique f.

Dans l'exemple illustré, l'émission est assuré par une source laser E_{11} couplée optiquement à la fibre optique f par un organe optique d'interface 10 qui sera détaillé dans ce qui suit.

L'émission est commandée par un générateur 12 de signaux électriques représentant l'information à transmettre.

Selon une deuxième caractéristique du procédé de l'invention ces premiers signaux optiques ne sont pas détectés par le terminal récepteur 2, mais retransmis sans modification par un second organe d'interface 20, au terminal émetteur 1, par la fibre optique f. Les signaux optiques atteignant ce terminal 1 au bout d'un temps égal au double du temps de propagation τ. A ce moment, les signaux optiques reçus sont détectés par un organe opto-électronique R_{11} couplé à la fibre optique f via l'organe d'interface 10 qui les convertit en signaux électrique VR_{11}. Selon une troisième caractéristique du procédé de l'invention, des seconds signaux optiques représentant également l'information à transmettre sont émis en simultanéité de temps avec les premiers signaux optiques et injectés, via un élément optique à retard et l'organe d'interface 10, dans la fibre optique f. L'élément à retard 11 représente un retard égal à deux fois le temps de propagation τ des premiers signaux optiques dans la fibre optique f.

De ce fait, les premiers signaux optiques, après un aller et retour dans la fibre optique f, sont présents en simultanéité de temps, au niveau de l'organe d'interface 10.

Pour déterminer si le système de transmission est opérationel, il suffit donc simplement de comparer les premiers et seconds signaux optiques. Une concordance entre ces signaux indique que la transmission peut s'effectuer et constitue donc un test préalable.

Pour ce faire, une seconde source laser E_{10} est utilisée, commandée par les signaux électriques qui commandent l'émission de la première source E_{11} et représentent l'information à transmettre.

Un second organe opto-électronique de détection R_{10} prélève une partie de l'énergie des signaux optiques en sortie de l'éléments à retard 11 et la convertit en signaux électriques.

Les signaux VR_{10} et VR_{11} issus de la conversion sont alors comparés par un circuit comparateur 13 qui délivre un signal de sortie V_{TC} indiquant la concordance ou la non-concordance des signaux d'entrées et donc des premiers et seconds signaux optiques.

Si la liaison est opérationnelle il y aura une parfaite concordance, à tout instant, des signaux V_{R10} et V_{R11}. Dans le cas contraire le signal V_{TS} prendra un état prédéterminé indiquant que la liaison est défectueuse. Dans

ce cas, toute mesure appropriée peut être adoptée, ce en "temps réel". Ce peut être la simple interdiction de l'émission du message M_0 vers le terminal 2. Ce peut être des mesures complémentaires, selon l'application envisagée, telle que l'émission sur un autre canal. Des applications de l'invention seront décrites de façon plus détaillée dans ce qui suit.

Lorsque le test de concordance est positif, le message M_o est transmis par la fibre optique f au terminal 2 et via, l'interface 20, est transmis à un organe opto-électronique R_{21} qui le détecte et le convertit en signaux électriques VR_{11} pour une utilisation ultérieure, de manière classique et qui ne sera pas décrite.

La procédure qui vient d'être décrite constitue donc un test préalable de "transmissibilité" du message d'informations. Cependant le procédé de l'invention permet également un test permanent.

En effet, si au cours de l'émission d'un message, la liaison cesse d'être opérationnelle, l'organe de comparaison 13 qui effectue une surveillance permanente, va détecter une discordance entre le message M_o à transmettre, et va positionner le signal V_{TC} à l'état indiquant la non-concordance. Les mêmes mesures qui précédemment évoquées peuvent être alors adoptées.

Dans tout ce qui précède, il a été admis implicitement que les messages M_1 et M_0, indentiques quant à leur contenu, c'est-à-dire quant à l'information véhiculée, peuvent être discriminés par l'organe d'interface 20, l'un étant retransmis au terminal 1 et l'autre convertit en signaux électriques représentant l'information transmise.

Diverses méthodes peuvent être utilisées à cette fin.

Selon une variante préférée de l'invention, les signaux optiques constituant les messages M_0 et M_1 transmis par la fibre optique f sont associés à des longueurs d'onde différentes.

Cette méthode a l'avantage de n'exiger l'utilisation que d'éléments optiques passifs, tels que des miroirs dichroïques, et présente une grande simplicté et, également ce qui est important pour les applications envisagées, une grande fiabilité.

D'autres méthodes peuvent cependant être mises en oeuvres : utilisations de polarisations différentes, de types de codage différents des messa-

ges M_1, et M_0, etc. Cependant ces méthodes présentent une fiabilité moindre et/ou la nécessité d'utiliser des éléments opto-électroniques actifs.

Un exemple de réalisation concrète d'un dispositif de l'invention va maintenant être décrit en référence à la figure 2.

On retrouve les émetteurs E_{11} et E_{10}, émettant des radiations, centrées sur des longueurs d'onde λ_1 et λ_0 respectivement.

L'émetteur E_{11} est couplé optiquement à l'interface 10 par un court segment de fibre optique f E_{11} et l'émetteur E_{10} par une fibre optique f E_{10} de longueur égale à deux fois celle de la fibre optique f.

Cette fibre optique constitue l'élément optique à retard égal à 2τ .

On retrouve aussi les organes opto-électroniques de détection R_{11} et R_{10}, couplés optiquement à l'interface 10 par l'intermédiaire également de courts segments de fibres optiques fR_{11} et fR_{10}.

L'interface 10 comprend tout d'abord des lentilles collimatrices : LE_{11}, LR_{11}, LE_{10} et LR_{10} ; associées aux différentes fibres optiques de couplage et transformant un faisceau divergent émis par les fibres optiques fE_{11}, et fE_{10} en un faisceau collimaté et effectuant l'opération inverse en ce qui concerne les fibres optiques fR_{11} et fR_{10} qui captent les faisceaux ainsi focalisés.

L'interface 10 comprend également une première lame L_1 à coefficients de transmission et de réflexion partiels transmettant en partie la puissance optique émise par la source E_{11} centrée sur la longueur d'onde λ_1 et réfléchissant une partie de la puissance optique retransmise par la fibre optique f, correspondant au message M_1 de longueur d'onde λ_1.

Entre cette lame L_1 et la fibre optique f, sont intercalés, d'une part, un miroir dichroïque MD1 et, d'autre part une lentille L_{10}.

Cette dernière lentille focalise sur la surface de coeur de l'extrémité la fibre optique f les radiations émises par celle-ci, c'est-à-dire les radiations reçues par l'interface 10, en un faisceau collimaté.

Le miroir dichroïque MD_1 transmet sans atténuation significative les radiations de longueur d'onde λ_1 et réfléchit les radiations de longueur d'onde λ_0.

Enfin l'interface comprend une seconde lame L_0 à coefficients de réflexion et de transmission partiels opérant de façon analogue à la lame L_1

en ce qui concerne les faisceaux issus de/ou captés par les fibres optiques fE_{10} et fR_{10}. Cette lame L_0 transmet un faisceau collimaté de longueur d'onde λ_0 au miroir dichroïque MD_1 qui le réfléchit intégralement vers la fibre optique f via la lentille L_{10}.

Les radiations de longueur d'onde λ_1, émises par la source E_{11}, sont donc transmises par le miroir dichroïque MD_1 à la fibre optique f et en retour les radiations de même longueur d'onde sont transmises, par ce miroir et via les autres éléments optiques intermédiaires : L_1, LR_{11} et FR_{11}, au détecteur R_{11}.

Les sources E_{10} et E_{11}, de longueurs d'onde λ_0 et λ_1, peuvent être des lasers semi-conducteurs commandés par les signaux électriques représentant l'information à transmettre générés par les circuits 12.

L'interface 20, du terminal récepteur 2, pour sa part, comprend une lentille L_{20} collimatant le faisceau émis par la face terminale de la fibre optique f, c'est à dire des radiations de longueurs d'onde λ_0 ou λ_1 et focalisant les radiations de longueur d'onde λ_1 retransmises vers le terminal émetteur 1.

Pour effectuer la discrimination entre les radiations de ces deux longueurs d'onde, un miroir dichroïque MD_2 est prévu, opérant de la même manière que le miroir MD_1, transmettant les radiations de longueur d'onde λ_i vers un miroir M et réfléchissant les radiations de longueur d'onde λ_0 vers une lentille focalisatrice LR_{20} qui couple optiquement, via un court segment de fibre optique fR_{20}, l'interface 20 à un détecteur opto-électronique R_{20}.

Les radiations de longueur d'onde λ_0 après réflexion sur le miroir M, retraverse le miroir dichroïque MD_2 et sont réinjectées, par la lentille L_{20}, dans le coeur de la fibre optique f.

On constate donc que, dans la variante préférée de réalisation du dispositif selon l'invention, toutes les fonctions d'aiguillage, de discrimination et de retard sont réalisées à l'aide d'éléments optiques passifs bien connus.

Notamment en ce qui concerne l'aspect multiplexage de longueurs d'onde, référence peut être faite, pour une description plus détaillée de la technique mise en oeuvre, au brevet français FR-B-2 258 751.

On peut naturellemnt remplacer ces éléments de type discret par des éléments réalisés selon une structure dite en "optique intégrée".

Dans une variante non illustrée, les interfaces 10 et 20 peuvent être réalisées de façon avantageuse à base d'un substrat unique dans lequel les fonctions de séparation et de guidage d'onde ont été implantées.

Le couplage optique avec les éléments opto-électroniques émetteurs ou détecteurs peut s'éffectuer par la tranche du substrat, directement ou à l'aide de fibres amorces intermédiaires comme dans le cas du dispositif illustré par la figure 2.

A titre d'exemple parmi d'autres, de tels dispositifs et techniques sont décrits dans la demande de brevet FR-A-2 513 393.

Pour illustrer plus complètement le fonctionnement du dispositif de l'invention, on va maintenant se reporter aux diagrammes des figures 3 et 4 relatives, respectivement, à des cas de transmissions de messages correcte et défectueuse.

On considère à titre d'exemple, pour fixer les idées un message à transmettre constitué d'un mot binaire de 10 bits, de configuration binaire arbitraire : "1 1 1 0 1 0 1 0 1 1", les bits à l'état logique "1" étant émis séquentiellement sous forme d'impulsions lumineuses d'une amplitude déterminée.

Sur la partie supérieure du diagramme, sont représentés, en fonction du temps, des signaux SE_{10} et SE_{11}, représentant le niveau de puissance émise par les sources lasers E_{10} et E_{11}, en unités normalisées : "1" lorsqu'il y a émission et "0" lorsqu'il n'y a pas d'émission.

L'émission est synchrone pour les deux sources et débute à l'instant arbitraire t_o de l'échelle des temps.

Au bout d'un temps égal à 2τ, c'est-à-dire deux fois le temps de parcours d'une onde guidée de la fibre optique f, l'onde guidée par la fibre fE_{10} émerge de celle-ci.

La première impulsion, à l'état "1" dans l'exemple choisi, est disponible en sortie de la fibre fE_{10} : signal $S'E_{10}$ (instant $t_o+2\tau$).

Pendant ce temps le message de test M_1 a été transmis, au terminal récepteur 2, au bout d'un intervalle de temps égal à signal τ : $S'E_{11}$

retransmis au terminal récepteur et capté par celui-ci après un deuxième intervalle de temps égal au premier : signal $S''E_{11}$ (instant $t_o+2\tau$).

A l'instant ($t_o+2\tau$), les deux impulsions correspondant au premier bit du mot binaire à tranmettre, l'une après retard local, l'autre ayant effectué un aller er retour dans le canal de liaison réel, peuvent donc être comparées.

Si la liaison est opérationnelle, les deux impulsions optiques sont effectivement présentes dans le terminal émetteur et converties en signaux électriques transmis à l'organe de comparaison 12. Du fait du synchronisme offert par le procédé, la comparaison peut s'effectuer simplement en utilisant une porte logique "OU-EXCLUSIF".

La comparaison peut être continuée en permanence, bit par bit. Dans l'exemple illustré par la figure 3, la liaison étant opérationnelle le signal V_{TC} ne change pas d'état (état logique "1").

Le mot binaire d'information est donc transmis au terminal récepteur 2 : signal $S''E_{10}$, et détecté à partir de l'instant ($t_o+3\tau$).

La figure 4 illustre le cas pour lequel la liaison est défectueuse : fibre optique f coupée ou toute autre cause.

Les mêmes signaux ont été représentés et ne seront pas redécrits. Cependant la liaison étant dans l'exemple illustré interrompue, le signal SE_{11} n'est pas reçu par le terminal récepteur (signal $S''E_{11}$). La comparaison entre les signaux $S''E_{11}$ et $S'E_{10}$ va indiquer, à l'instant ($t_o+2\tau$), une non-concordance et va se traduire par un changement d'état du signal V_{TC}, changement d'état qui peut être mémorisé en munissant les circuits 13 d'un organe bistable. Dans l'exemple illustré, le signal V_{TC} passe de l'état logique "1" à l'état logique "0".

D'autres cas peuvent se présenter et notamment l'interruption d'une liaison en cours d'émission. Cette interruption sera détectée dans un intervalle de temps maximum égal à 2τ , intervalle de temps qui dépend essentiellement de la localisation de l'apparition du défaut le long de la chaine des éléments entrant dans la liaison.

Selon un aspect supplémentaire avantageux, le test de "transmissibilité" du type "tout ou rien" peut être complété par une mesure de type analogique de l'atténuation permanente de la liaison.

A cette fin, si l'on se repporte à nouveau à la figure 2, il est prévu un organe opto-électronique supplémentaire R'_{11}, recevant une fraction de l'énergie émise par la source E_{11} de longueur d'onde λ_1 et la convertissant en signal électrique VR'_{11}.

Cette fraction de l'énergie transmise à la fibre optique de liaison f est prélevée en captant la composante réfléchie par la lame partiellement réfléchissante L_1 à l'aide d'une lentille focalisatrice supplémentaire LR'_{11} couplée optiquement à l'extrémité d'un segment de fibre optique FR'_{11} dont l'autre extrémité est couplée optiquement au détecteur R'_{11}.

Le détecteur R_{11} captant une partie de l'énergie des radiations de même longueur d'onde ayant effectué un aller et retour complet de la liaison par fibre optique f, il suffit de comparer l'amplitude des signaux électriques de sortie délivrés par les détecteurs R_{11} er R'_{11} pour déterminer l'atténuation apportée par la liaison optique et ses fluctuations dans le temps, naturellement après calibrage. Ce calibrage peut être effectué une fois pour toute ou périodiquement. Il doit être tenu compte des coefficients de transmission et de réflexion de la lame L_1.

En outre, si le procédé de codage de l'information à transmettre met en oeuvre, non un code de type impulsionnel, comme précédemment décrit mais un code numérique ayant une valeur moyenne constante, la mesure se résume alors à la comparaison de deux courants ou deux tensions continus.

Les signaux de sortie des détecteurs R_{11} et R'_{11} sont transmis à un organe de comparaison 14 dont le signal de sortie V_{TA} indique à tout moment l'atténuation apportée par la ligne de transmission aux ondes lumineuses.

Dans l'hypothèse du code à valeur moyenne constante, un amplificateur différentiel peut être utilisé.

Dans le cas contraire, les circuits doivent tenir compte de la nature du code. Pour un code impulsionnel, tel qu'illustré par les diagrammes des figures 3 et 4, il peut être effectué une détection de l'amplitude des impulsions. Dans tous les cas, la mesure de l'atténuation est effectuée en "temps réel".

Il peut être effectué, en outre, une mesure préalable de l'atténuation par transmission d'un message isolé M_1 et détermination de l'atténuation

apportée par la ligne de transmission. Selon les résultats de ce test, et si l'atténuation dépasse un seuil prédéterminé, des actions peuvent être adoptées pour, par exemple, interdire toute transmission ou pour régler la puissance d'émission. Ce test préalable indique également l'existence d'une rupture franche de la ligne.

Comme il a été indiqué, la mesure d'atténuation peut être effectuée ensuite de façon permanente. Cette mesure peut être utilisée notamment pour régler à tout moment la puissance d'émission des sources lasers et vient en complément du test en "tout ou rien" de "transmissibilité" selon la caractéristique principale de l'invention.

Pour une illustration plus complète de l'invention, une configuration concrète a été réalisée et testée. Les principaux éléments utilisés, les principales caractéristiques de la liaison réalisées et les bilans énergétiques ont été rassemblés dans les tableaux I à III disposés en fin de la présente description.

Au vu de ces tableaux, il est à remarquer que les bilans énergétiques et les marges des transmissions sur les deux longueurs d'onde sont sensiblement comparables, ce qui conduit à des niveaux de signaux détectés et donc à des taux d'erreurs prévisibles équivalents.

Ces marges peuvent être utilisées pour compenser des pertes dues à d'éventuels connecteurs supplémentaires ou organes analogues insérés dans la liaison ainsi que pour compenser des atténuations induites par un environnement plus sévère que celui dans lequel a été effectué l'expérimentation.

Il doit être enfin noté que, la vitesse de propagation des ondes lumineuses à une longueur d'onde 840 nm étant plus faible qu'à la longueur d'onde 1300 nm, il y a lieu d'ajuster les longueurs respectives des fibres f et fE_{10} dans un rapport légèrement différent du rapport deux précédemment indiqué en tenant compte de la relation :

$$lfE_{10} = 2 \times lf \times (n_{\lambda 1} / n_{\lambda 0}) ;$$

dans laquelle :

. lfE_{10} est la longueur de la fibre optique fE_{10}

. lf est la longueur de la fibre optique f

. $n_{\lambda 0}$ et $n_{\lambda 1}$ sont les indices de réfractrion moyens des coeurs des fibres aux longueurs d'onde $\lambda_0 = 840$ nm et $\lambda_1 = 1300$ nm.

Cet ajustement permet d'assurer la mise en phase rigoureuse des signaux issus des détecteurs R_{11} et R_{10}.

Dans l'exemple illustré, pour une longueur de la fibre f égale à 1 km, la longueur de la fibre fE_{10} doit être de l'ordre de 1992 m.

Bien que, seules des liaisons optiques unidirectionnelles aient été décrites dans ce qui précède, l'invention englobe également des liaisons bidirectionnelles, ces liaisons peuvent être simultanées avec des longueurs d'onde différentes ; Elles peuvent aussi être alternées avec des longueurs d'onde semblables.

Ce type de liaisons peut être obtenu, selon une première variante, simplement en doublant les équipements et en réalisant des transmissions, de sens opposés, par deux liaisons unidirectionnelles distinctes.

Selon une seconde variante, une fibre optique f unique peut être utilisée comme liaison bidirectionnelle. Pour discriminer le sens des transmissions des messages de façon fiable, il suffit alors, parmi d'autres méthodes possibles, d'augmenter le nombre de longueurs d'ondes utilisées.

On peut également assurer des liaisons entre des terminaux en nombre supérieur à deux, soit en adoptant des mesures analogues à ce qui vient d'être évoqué, soit en adoptant un multiplexage en temps pour assurer des liaisons séquentielles point à point.

L'invention, telle qu'elle vient d'être décrite, trouve application dans de nombreux domaines et, parmi lesquels à titre d'exemples non limitatifs, les domaines qui vont être énumérés dans ce qui suit.

Un premier domaine concerne la transmission à haute sécurité de messages chiffrés. Le dispositif objet de l'invention permet non seulement de tester la "transmissibilité" des messages, c'est-à-dire de vérifier que l'organe récepteur peut recevoir un message à l'instant du test, mais aussi, puisque les comparaisons des signaux issus des détecteurs peuvent s'effectuer en amplitude, le dispositif permet également de s'assurer qu'aucune connexion n'a variée dans la chaine d'élément de liaison et, en particulier, qu'un récepteur non autorisé n'y a pas été inséré introduisant une perturbation décelable.

Un deuxième domaine d'application concerne la commande de vol optique en avionique. Compte tenu de la fiabilité exigée dans ce cadre d'applications, il est d'usage de doubler, voire de tripler les liaisons matérielles. Comme la fiabilité peut être dégradée par des parasitages d'origine extérieure : orages, décharches à haute énergie, etc...,une fiabilité ne peut être atteinte qu'en ayant recours à des liaisons de natures physiques différentes, telles que liaisons électriques, pneumatiques ou hydrauliques. Dans ce cas, une catégorie de parasite ne peut perturber toutes les liaisons simultanément. En effet, il ne sert à rien de disposer de trois liaisons de même catégorie, de type électrique par exemple puisque, la foudre peut les affecter simultanément, ce même si leurs locations et le procédé de codage utilisé pour ces trois voies sont différents.

L'invention autorise l'utilisation de liaisons de type optique en toute sécurité et permet, à un avionneur de disposer de quatre type de liaison pour assurer des commandes de vol.

Un troisième domaine concerne la commande de systèmes d'armes. Les mêmes considérations que précédemment peuvent s'appliquer à ce domaine.

Enfin, un quatrième domaine concerne la commande de missiles fibro-guidés. L'invention permet d'effectuer d'une part, un test préalable de "transmissibilité" et, d'autre part, un test permanent de la continuité de la liaison. En effet, il est alors particulièrement important de détecter toute rupture de liaison, ce qui aurait notamment pour conséquence grave une trajectoire incontrôlée du missile. Un système automatique, ou éventuellement un opérateur, peut alors commander, si nécessaire, la destruction du missile ou lui faire effectuer toute manoeuvre préprogrammée, à l'aide d'un autre moyen de transmission, par voie hertzienne par exemple.

TABLEAU I

Longueur de la liaison	:	1 km
Débit	:	10 Mb/s
Emetteurs : E_{10}	:	diode électroluminescente GaAlAs λo = 840 nm.
E_{11}	:	diode électroluminescente GaInAsP λ_1=1300 nm.
Détecteurs : R_{10} et R_{20}	:	photodiodes de type "PIN" Silicium
R_{11} et R'_{11}	:	photodiodes GaInAsP
Fibres optiques	:	diamètre de coeur : 100 /um. diamètre extérieur : 140 /um. ouverture numérique O.N. : 0,25 bande passante : > 100 MHz.km atténuation : 3dB 1dB/km à 1300nm.
Miroirs dichroïques : MD_1 et MD_2	:	transmission maximale à 1300nm réflexion maximale à 840nm.

TABLEAU II

Bilan énergétique pour la transmission par onde lumineuse de longueur d'onde λ_1 = 1300nm

. Pertes dues aux lentilles LE_{11}, L_{10} et au miroir MD_1	= 3dB
. Prélèvement de la lame L_1	= 3dB
. Atténuation dans la fibre optique f	= 1dB
. Pertes dues au miroir M, à la lentille L_{20} (deux fois) et au miroir MD_2	= 1dB
. Atténuation au retour dans la fibre optique f	= 3dB
. Pertes dues aux lentilles L_{12}, L_{10}, et au miroir MD1 en retour	= 3dB
. Prélèvement de la lame L_1	= 3dB
. Pertes dues à deux connecteurs (2 x 0,5dB)	= 1dB
TOTAL	= 18dB

. Puissance optique injectée par la source E_{11} dans la fibre amorce fE_{11}	$> -10dB_m$
. Puissance optique minimum nécessaire pour obtenir un taux d'erreur inférieur à 10^{-9} à 10Mb/s	$< -40dB_m$
. Marge :	> 12dB

TABLEAU III

Bilan énergétique pour la transmission par onde lumineuse de longueur d'onde λ_0 = 840 nm

. Atténuation dans la fibre optique f (2 x 3 dB)	= 6dB
. Pertes dues aux lentilles LE_{10}, L_{10} et au miroir MD_1	= 3dB
. Prélèvement de la lame L_O	= 1dB
. Atténuation dans la fibre optique fE_{10}	= 3dB
. Pertes dues aux lentilles L_{20}, LR_{20} et au miroir MD_2	= 3dB
. Pertes dues à deux connecteurs (2 x 0,5dB)	= 1dB
TOTAL	= 17dB

. Puissance injectée par la source E_{10} dans la fibre optique fE_{10}	$> -10dB_m$
. Puissance optique minimum nécessaire pour obtenir un taux d'erreur inférieur à 10^{-9} à 100Mb/s	$< -40dB_m$
. Marge :	> 13dB

REVENDICATIONS

1. Procédé de transmission optique d'un message d'informations dans un système à sécurité de transmission élevée comprenant au moins un canal de liaison par fibre optique d'une longueur déterminée entre un terminal émetteur (1) et un terminal récepteur (2), caractérisé en ce qu'il comprend :

- une étape de génération par le terminal émetteur (1) d'une première onde lumineuse véhiculant ledit message d'information à transmettre, d'injection de cette onde (M_1) dans la fibre optique de liaison et de transmission de cette onde au terminal récepteur (2) ;

- uné étape de génération, en synchronisme avec la génération de la première onde, d'une seconde onde lumineuse associée à un paramètre optique permettant une discrimination des deux ondes et véhiculant le même message d'informations à transmettre ;

- une étape de retransmission immédiate de la première onde lumineuse (M_1) par le terminal récepteur (2) vers le terminal émetteur (1) ;

- une étape d'injection de la seconde onde lumineuse dans un organe la retardant, d'un temps égal à deux fois le temps (τ) nécessaire à la première onde pour se propager dans la fibre optique de liaison (f) sur ladite longueur déterminée, avant de la transmettre à la fibre optique de liaison (f) ;

- une étape de comparaison, des contenus des messages véhiculés par les première (M_1) et seconde (M_0) ondes et de génération d'un signal (V_{TC}) présentant deux états distincts, une premier état, associé à la concordance des contenus des deux messages indiquant que le terminal récepteur (2) est en état de recevoir le message d'information à transmettre, et un deuxième état, associé à la non-concordance des contenus des deux messages, indiquant que le terminal récepteur (2) n'est pas en état de recevoir ce message ;

- et une étape d'injection dans la fibre optique de liaison (f) de la seconde onde lumineuse (M_0), de transmission de celle-ci au terminal récepteur (2) et de détection par ce terminal, du contenu du message d'informations véhiculé par cette seconde onde lumineuse (M_0).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le paramètre optique permettant la discrimination est constitué par des longueurs d'ondes (λ_1, λ_0) distinctes sur lesquelles sont émises la première et seconde ondes lumineuses.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, caractérisé en ce que le message d'informations est codé sous forme d'une suite d'éléments binaires modulant l'onde lumineuse et en ce que l'étape de comparaison s'effectue de façon permanente, en comparant, deux à deux, des éléments binaires correspondants à cesdits deux messages.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape supplémentaire consistant en la comparaison, en permanence, de l'amplitude de l'intensité optique de la première onde avant injection dans la fibre optique de liaison (f) et de son amplitude après retransmission par le terminal récepteur (2) et réception dans le terminal émetteur (1), de manière à déterminer la valeur instantanées de l'atténuation apportée à la première onde lumineuse par le canal de liaison optique (f).

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le message d'informations étant codé à l'aide d'un code binaire se présentant sous la forme d'impulsions ayant une valeur moyenne constante, ladite étape de comparaison des intensités optiques des ondes lumineuses (VR_{11}, $V'R_{11}$) est une opération de comparaison des amplitudes de ces signaux.

6. Dispositif de transmission optique d'un message d'informations par un canal de liaison à fibre optique (f) d'une longueur déterminée entre un terminal émetteur (1) et un terminal récepteur (2) selon le procédé de l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend, dans le terminal émetteur (2), une première source (E_{11}) d'émission d'une première onde lumineuse couplée optiquement à l'une des extrémités de la fibre optique de liaison (f), une seconde source (E_{10}) d'émission d'une seconde onde lumineuse, couplée optiquement à une première extrémité d'une fibre optique formant ligne à retard (fE_{10}) de longueur sélectionnée de manière à ce que l'onde lumineuse se propage de la première à la seconde extrémité de cette fibre optique en un temps double de celui (τ) nécessaire à la propagation de la première onde lumineuse sur ladite longueur détermi-

née de la fibre optique de liaison (f), des moyens sélectifs (10) de prélèvement d'une fraction de l'énergie véhiculée par les première et seconde ondes lumineuses et de couplages, d'une part, de la première source (E_{11}) et, d'autre part, de la seconde extrémité de la fibre optique (fE_{10}) formant ligne à retard, à la fibre optique de liaison (f), des premier (R_{11}) et second (R_{10}) moyens opto-électroniques de captation et conversion en signaux électriques (VR_{11}, VR_{10}) de l'énergie véhiculée par la première onde lumineuse après un aller et retour dans la fibre de liaison (f) et par la seconde onde lumineuse, en premier et second signaux électriques, des moyens de comparaison (13) de ces signaux électriques et des moyens de génération (12) de signaux électriques représentant le message d'informations à transmettre et commandant l'émission synchronisée desdites première (E_{11}) et seconde (E_{10}) sources et, en ce qu'il comprend, dans le terminal récepteur (2), des moyens de réémission sélectives (M) de la première onde lumineuse (M_1), des moyens opto-électroniques (R_{20}) de captation et de conversion sélectives de l'énergie lumineuse véhiculée par la seconde onde lumineuse (M_0) en des signaux électriques et des moyens de couplages optiques sélectifs, d'une part, des moyens de réémission (M) et, d'autre part, des moyens opto-électroniques (R_{20}), à la fibre optique de liaison (f).

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que les première (E_{11}) et seconde (E_{10}) sources d'émissions d'ondes lumineuses sont des lasers semi-conducteurs émettant sur des première (λ_1) et seconde (λ_0) longueurs d'ondes ; les moyens opto-électroniques (R_{11}, R_{10}, R_2) de captation et de conversion de l'énergie lumineuse et de couplages comprennent des miroirs (L_1, L_O) à coefficients de réflexion et de transmission partiels et des miroirs dichroïques (MD_1, MD_2) à coefficient de transmission maximum pour ladite première longueur d'onde (λ_1) et à coefficient de réflexion maximum pour ladite seconde longueur d'onde (λ_0) ; et les moyens de réflexion sont constitués par un miroir (M).

8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que la longueur de la fibre optique (fE_{10}) formant ligne à retard est égale a deux fois la longueur de la fibre optique de liaison, longueur multipliée par un coefficient égal au rapport ($n_{\lambda 1}/n_{\lambda 0}$) entre les indices de réfractions moyens

présentés par le coeur des fibres, optiques respectivement à une onde guidée de la première longueur (λ_0) d'onde et à une onde de la seconde longueur d'onde (λ_o).

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, caractérisé en ce que les moyens (12) de génération de signaux électriques de commandes desdites première et secondes sources émettent des messages constitués par des signaux de type impulsionnel occasionnant l'émission d'impulsions lumineuses correspondantes et en ce que les moyens de comparaison (13) comprennent une porte logique de type "OU-EXCLUSIF" détectant l'occurence simultanée de deux impulsions électriques correspondantes issues de la conversion par les moyens opto-électroniques (R_{11}, R_{10}) de captation et de conversion, des énergies lumineuses véhiculées par les première et seconde ondes lumineuses.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 9 caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens supplémentaires opto-électroniques (R'_{11}) de captation et de conversion d'énergie lumineuse en signaux électriques (VR'_{11}), couplés à des moyens (L_1) prélevant sélectivement une fraction de l'énergie véhiculée par la première onde lumineuse avant injection dans la fibre optique de liaison (f), et des moyens (14) de comparaison de l'amplitude des signaux électriques (VR_{11} et VR'_{11}), délivrés par les premiers moyens (R_{11}) opto-électroniques de captation et de conversion d'énergie lumineuse et cesdits moyens opto-électroniques supplémentaires (R'_{11}), et délivrant des signaux électriques de sortie (V_{TA}) représentatifs de l'atténuation optique apportée par la liaison à fibre optique (f).

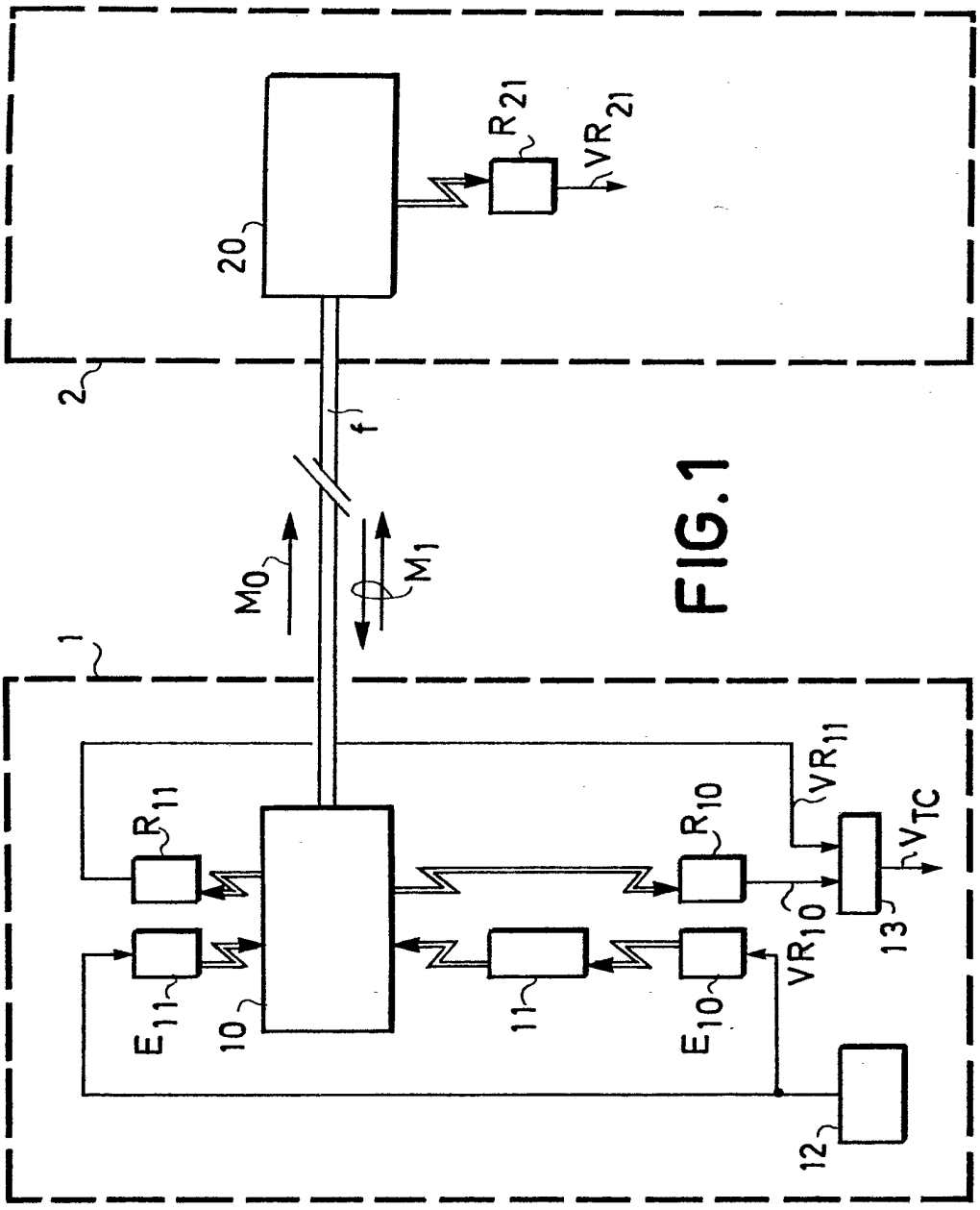


FIG.1

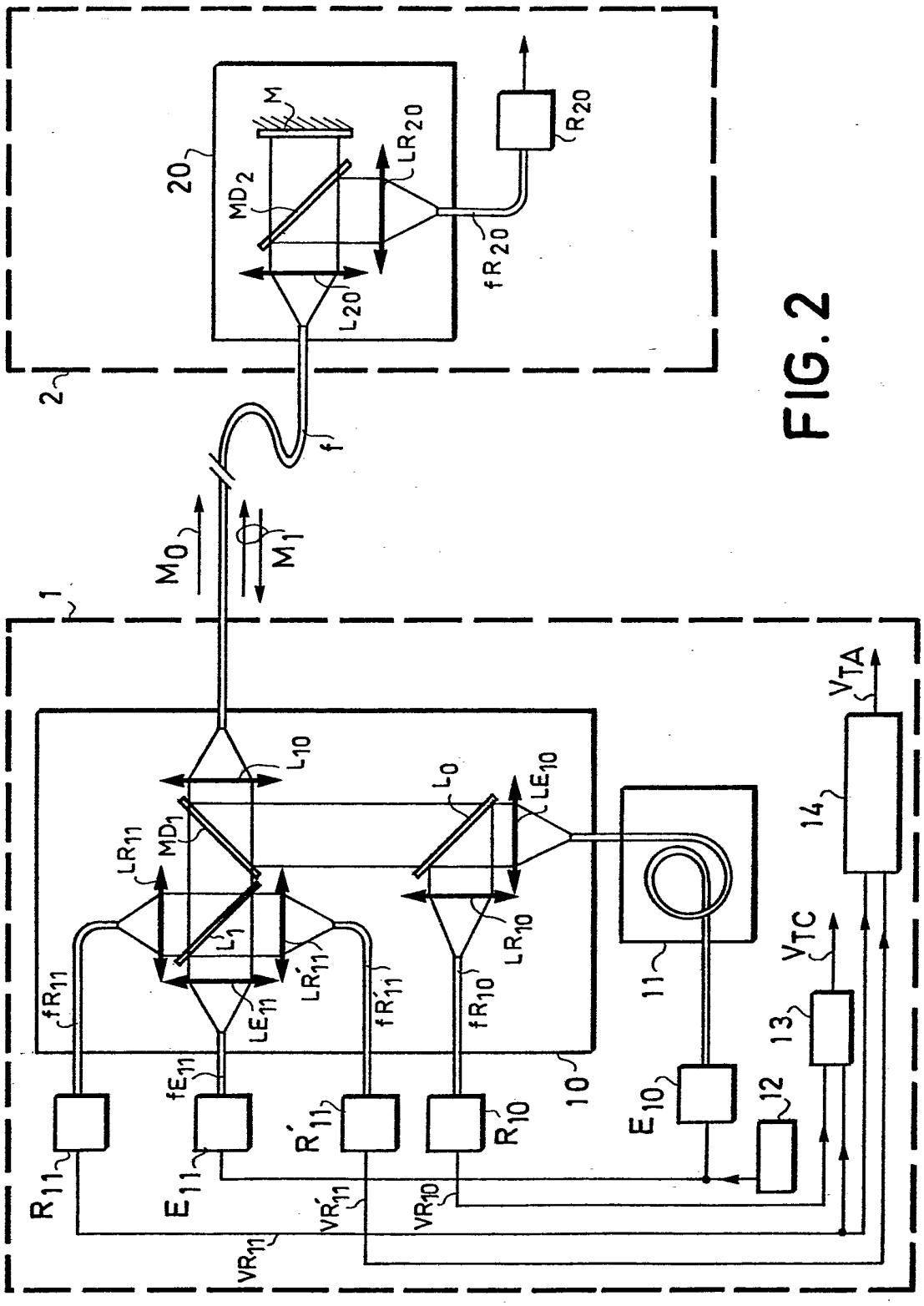

2
20
M
MD2
LR20
R20
fR20
L20
f
M0
M1
1
L10
L0
LE10
LR11
MD1
L'1
LR'11
fR11
fR'11
fR10
LR10
LE11
fE11
R11
E11
R'11
R'10
10
11
E10
12
13
14
VTA
VTC
VR11
VR'11
VR10

FIG. 2

FIG.3

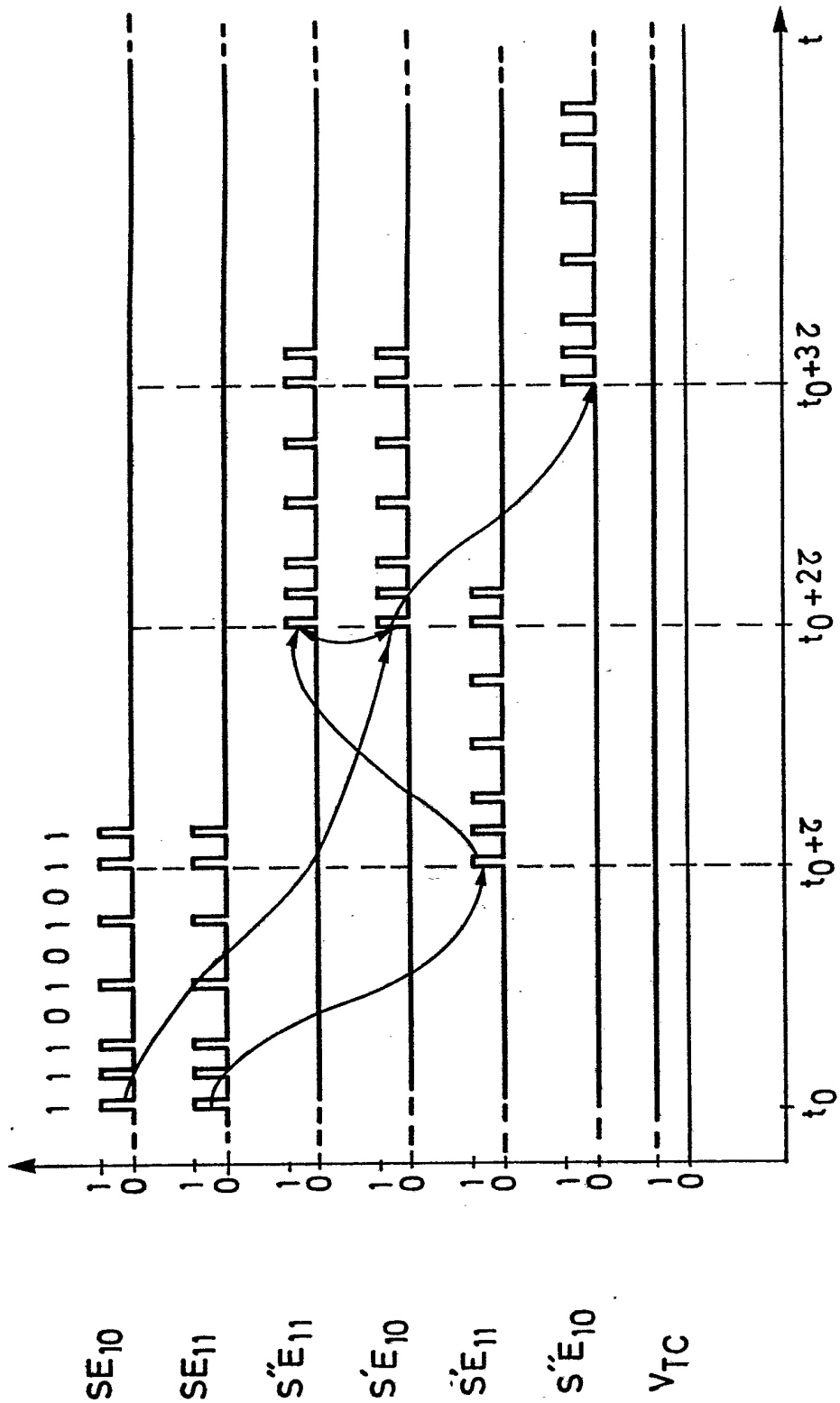
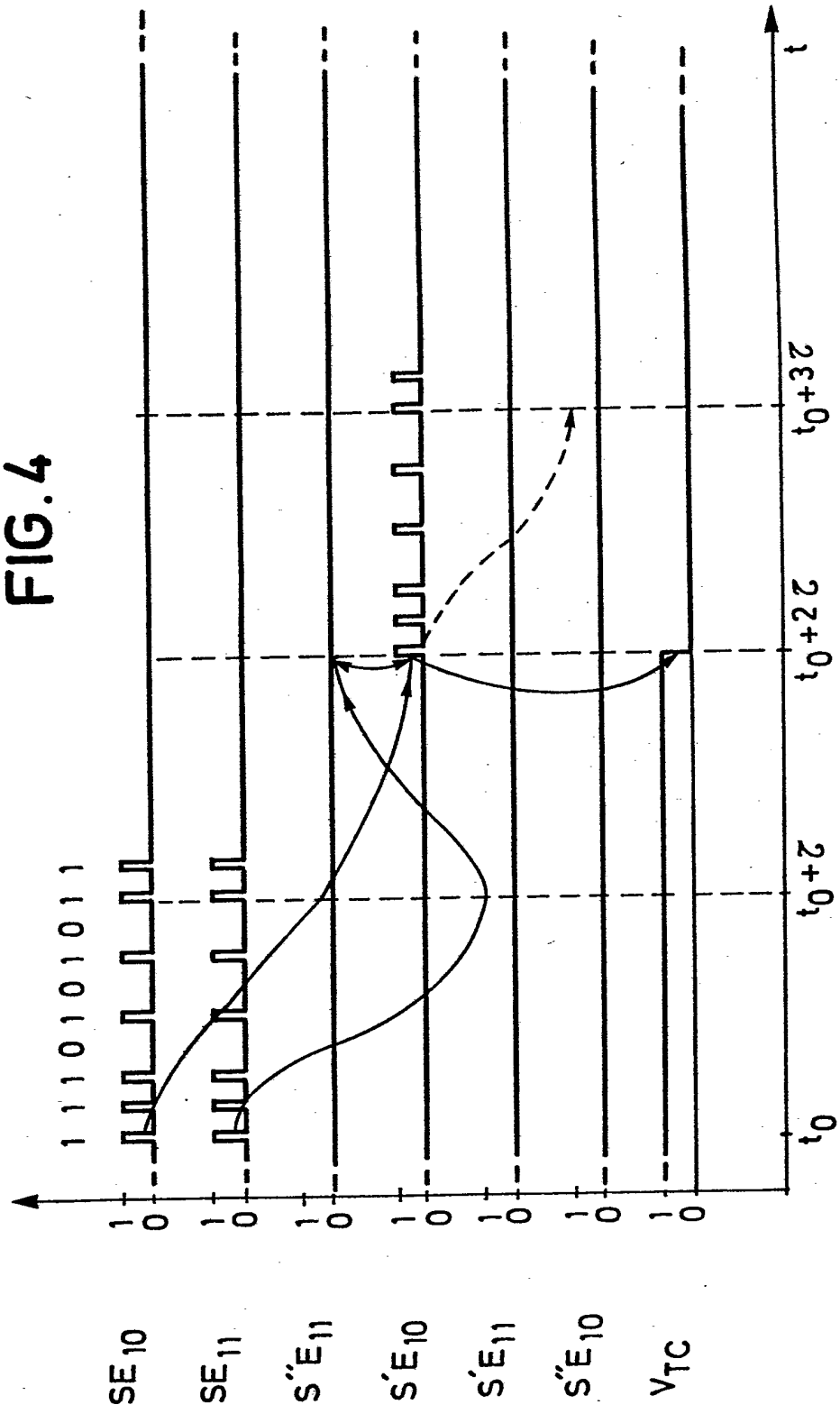

1 1 1 0 1 0 1 0 1 1 1
SE10
SE11
S''E11
S'E10
S'E11
S''E10
VTC
1
0
t
t0
t0+2
t0+2τ
t0+3τ

FIG. 4


1 1 1 0 1 0 1 0 1 1
SE10
SE11
S''E11
S'E10
S'E11
S''E10
VTC
1
0
t
t0
t0+2
t0+22
t0+32